

Évolution géodynamique du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane : Dynamique sédimentaire et géométrie des dépôts (Méséta nord occidentale, Maroc)

Geodynamic evolution of the Berrechid-ElGara-BenSlimane triassic basin (north-western Meseta, Morocco): Depositional dynamics and geometry of sedimentary bodies

Ali Lyazidi, Mohammed El Wartiti, Driss Fadli

Université Mohammed V, Faculté des sciences, Département des sciences de la terre,
UFR de géologie appliquée, avenue Ibn Batouta, B.P. 1014, Rabat, Maroc
E-mail lyazid.ali@caramail.com

Résumé

La série volcano-sédimentaire, du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane de direction NNE-SSW dans la Méséta nord occidentale, est étudiée à partir des données de terrain et de nombreux sondages. L'étude faciologique des dépôts a permis la distinction de cinq systèmes de dépôt successifs dans le temps. De même les variations spatiales et verticales des séquences de dépôt déterminent la géométrie des corps sédimentaires déduite à partir d'une cartographie de ces séquences. Ainsi l'approche adoptée a permis de retracer la dynamique du bassin, en liaison avec le début de l'ouverture de l'Atlantique central, au cours du Trias supérieur-Lias inférieur.

Mots clés : série volcano-sédimentaire ; systèmes de dépôt ; géométrie des corps sédimentaires ; évolution géodynamique ; Trias supérieur-Lias inférieur ; Méséta nord occidentale ; Maroc.

Abstract

The volcano-sedimentary series of the Berrechid-ElGara-BenSlimane Triassic onshore oriented NNE-SSW in the north-western Meseta, is studied from data collected within outcrops and several boreholes. The study of depositional sequences allowed the distinction of five depositional systems, which follow one another in time. As well, the study of spatial and vertical distributions of these sequences determines the geometry of sedimentary bodies, inferred from analysis of isopach maps and maps of facies distribution. Thus, the adopted approach permitted to suggest the dynamics of this basin in relationship with the central Atlantic early rifting during the late Triassic-lower Liassic period.

Key words: volcano-sedimentary series; depositional systems; geometry of sedimentary bodies; geodynamic evolution; late Triassic-lower Liassic; north-western Meseta; Morocco.

1. INTRODUCTION

Dans la série volcano-sédimentaire du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane, l'accumulation de matières premières (chlore, sodium, ...) et les propriétés réservoirs pour le stockage d'hydrocarbures et de déchets industriels feraient de ces dépôts un atout pour des enjeux économiques et écologiques.

Ce bassin, jusqu'à présent peu étudié, se présente comme une vaste dépression peu profonde qui semble relever d'une structure en demi-grabens de direction N-S à NE-SW, dont la disposition géographique épouse la direction des structures majeures hercyniennes. S'étendant parallèlement à la côte atlantique et situé dans le nord-ouest de la Méséta occidentale, à une trentaine de kilomètres au SE de Casablanca, il est limité à l'ouest par le môle côtier paléozoïque, au nord par la zone structurée de BenSlimane, et à l'est et au sud-est par les collines boisées des Mdakra-Khatouat ou môle d'ElGara (fig. 1).

1. INTRODUCTION

The economic and ecological importance of the volcano-sedimentary series found in the Triassic Berrechid-ElGara-BenSlimane basin includes the accumulation of primary material (chlorine, sodium, etc.) and the properties of the reservoir to store hydrocarbons and industrial waste.

Very few studies have so far been carried out in this basin. The few studies however, present this basin as a vast shallow depression which seems to have originated from N-S to NE-SW semi-graben structure that fits well with the geographical disposition of the major Hercynian structures. Stretching parallel to the Atlantic coast, and situated to the North-West of western Meseta, about thirty kilometres to the SE of Casablanca, the basin is limited to the west by the coastal Paleozoic uplift, to the north by the structural zone of BenSlimane and to the east and south-east by the woody hills of Mdakra-Khatouat or ElGara horst (Fig. 1).

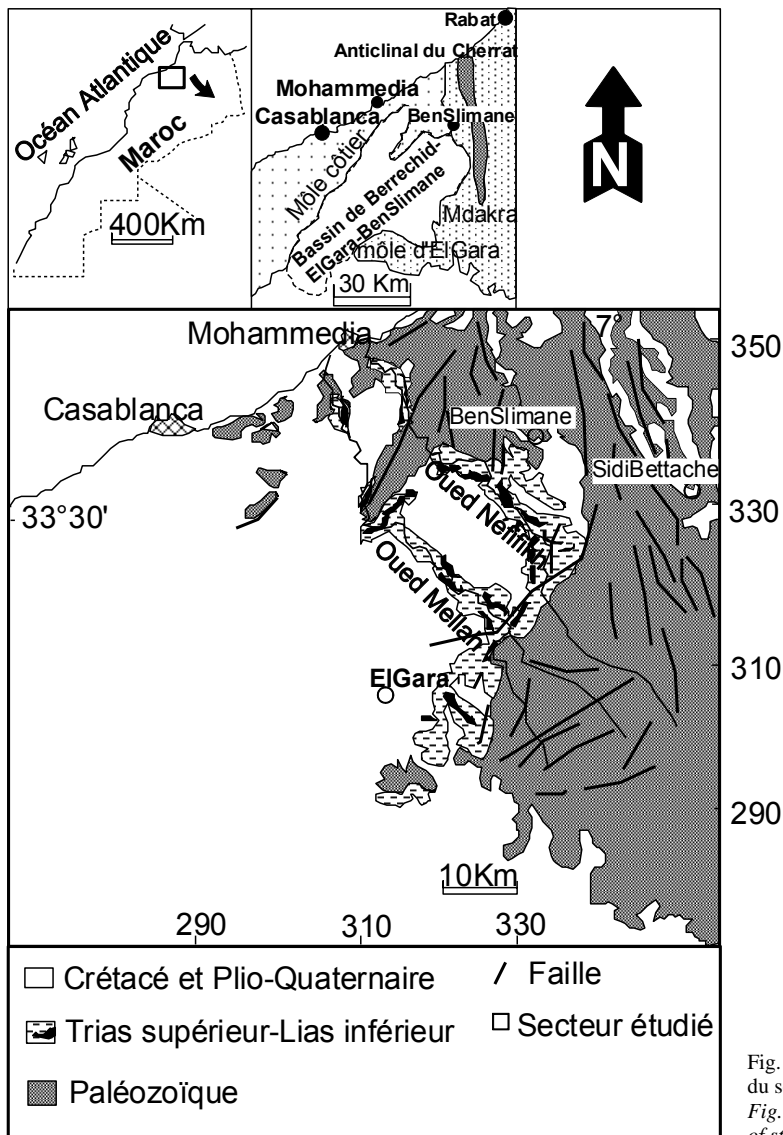


Fig. 1 – Localisation géographique et cadre géologique du secteur étudié.
Fig. 1 – Geographical location and geology of the area of study.

Ses frontières avec ces deux derniers massifs paléozoïques ont été précisées par la découverte de failles bordières subméridiennes (El Wartiti et Fadli, 1985 ; El Wartiti *et al.*, 1992). Dans sa partie péne-axiale, la présence d'un seuil tectonique important, le seuil de Nouasseur-BenSlimane, le divise en deux unités bien définies (fig. 2) : le synclinal de Médiouna au NW, et le synclinal de Berrechid au SE. Les dépôts triasiques sont de nature silicoclastique, salifère et basaltique (BRPM, 1973). Ils affleurent localement dans les parties nord, est et SE du bassin, et plongent doucement vers le SW sous les dépôts crétacés. Le secteur est soumis à un régime extensif ou transtensif, contemporain d'une phase transgressive au cours du Trias supérieur-Lias inférieur. Il est étroitement lié à la marge Atlantique ouest marocaine (Manspeizer, 1988 ; Laville et Piqué, 1991) et coïncide avec le linéament de la zone cisailée de la Méséta occidentale (Piqué, 1994). Ces événements

Its boundary with the last two Paleozoic massifs has been specified by the discovery of the submeridian fault (El Wartiti and Fadli, 1985; El Wartiti et al., 1992). In this pene-axial part, the occurrence of an important shelf tectonics, the Nouasseur-BenSlimane shelf which has been divided into two well defined units (Fig. 2): the Mediouna to the NW, and the Berrechid syncline to the SE. The Triassic deposits are siliciclastic, saliferous and basaltic in nature (BRPM, 1973). They outcrop locally in the north, east and SE of the basin, and gently dip towards the SW under the Cretaceous deposits. This region was subjected to an extensional or transtensive regime, contemporaneous with a transgressive phase during the Upper Trias and Lower Lias. It is directly linked to the west Moroccan Atlantic margin (Manspeizer, 1988; Laville and Piqué, 1991) and coincides with the lineament of the west Meseta shear zone (Piqué, 1994). This event was initiated during the

étaient déclenchés lors des phases tardives de la réorganisation post-hercynienne des plaques d'Afrique et d'Amérique du Nord ou Laurentia dans la Téthys Atlantique (Ziegler, 1988).

late phase of the post-hercynian reorganisation of the African and the North American plates or Laurentia in the Atlantic Tethys (Ziegler, 1988).

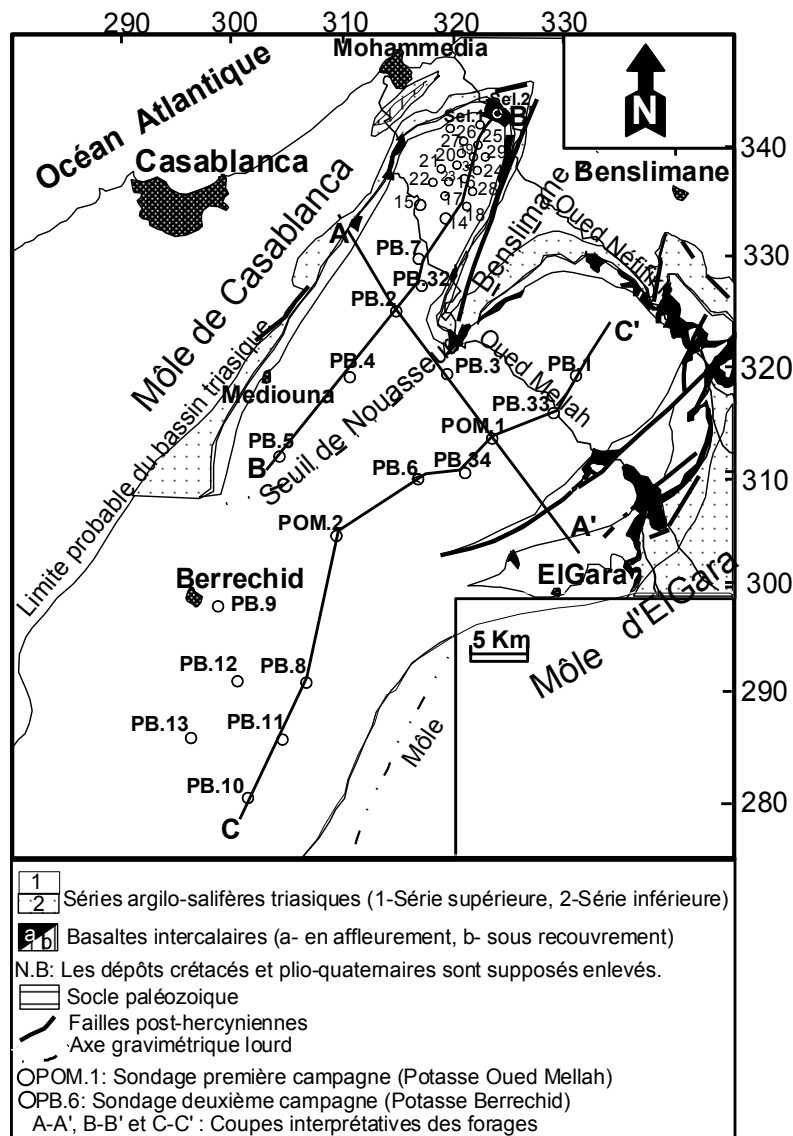


Fig. 2 – Esquisse structurale du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane et position des points étudiés.
 Fig. 2 – Structural sketch of the Triassic basin of Berrechid-ElGara-BenSlimane and position of the studied points.

Les données disponibles de subsurface fournies par le Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM), se résumant dans des rapports inédits de fin de sondages (35 sondages), en plus des données recueillies directement sur le terrain à l'affleurement, constituent une opportunité unique pour mener cette étude qui a pour objet de définir les caractères sédimentologiques et hydrodynamiques et la géométrie des dépôts du bassin de Berrechid-ElGara-BenSlimane.

The available sub-surface data from the Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM) is summarised in unpublished reports at the end of each drilling (35 boreholes); additionally to the data obtained directly in the field from the outcrops, it gives a unique character to this study, which has as prime objective, the definition of the sedimentological and hydrodynamic characteristics and geometry of the sediments in the Berrechid-ElGara-BenSlimane basin.

2. LITHOSTRATIGRAPHIE ET SYSTEMES DE DEPOT

21. Analyse lithostratigraphique des faciès rencontrés

En l'absence de données biostratigraphiques, il était nécessaire de proposer dans ce travail un nouveau découpage qui s'intègre avec l'ancien découpage lithologique (BRPM, 1973). En effet, l'épaisse série volcano-sédimentaire, masquée dans sa majorité par la couverture post-triasique, peut excéder 1 200 m dans le sondage le plus profond (POM.2).

2. LITHOSTRATIGRAPHY AND DEPOSITIONAL SYSTEMS

21. Lithostratigraphical analysis of the facies found

Due to the absence of biostratigraphic data, it is important to propose in this work, a new lithological delimitation which integrates with the former (BRPM, 1973).

In effect, the thick volcano-sedimentary series, which exceeds 1,200 m in the deepest borehole (POM.2) is greatly masked by a post Triassic cover.

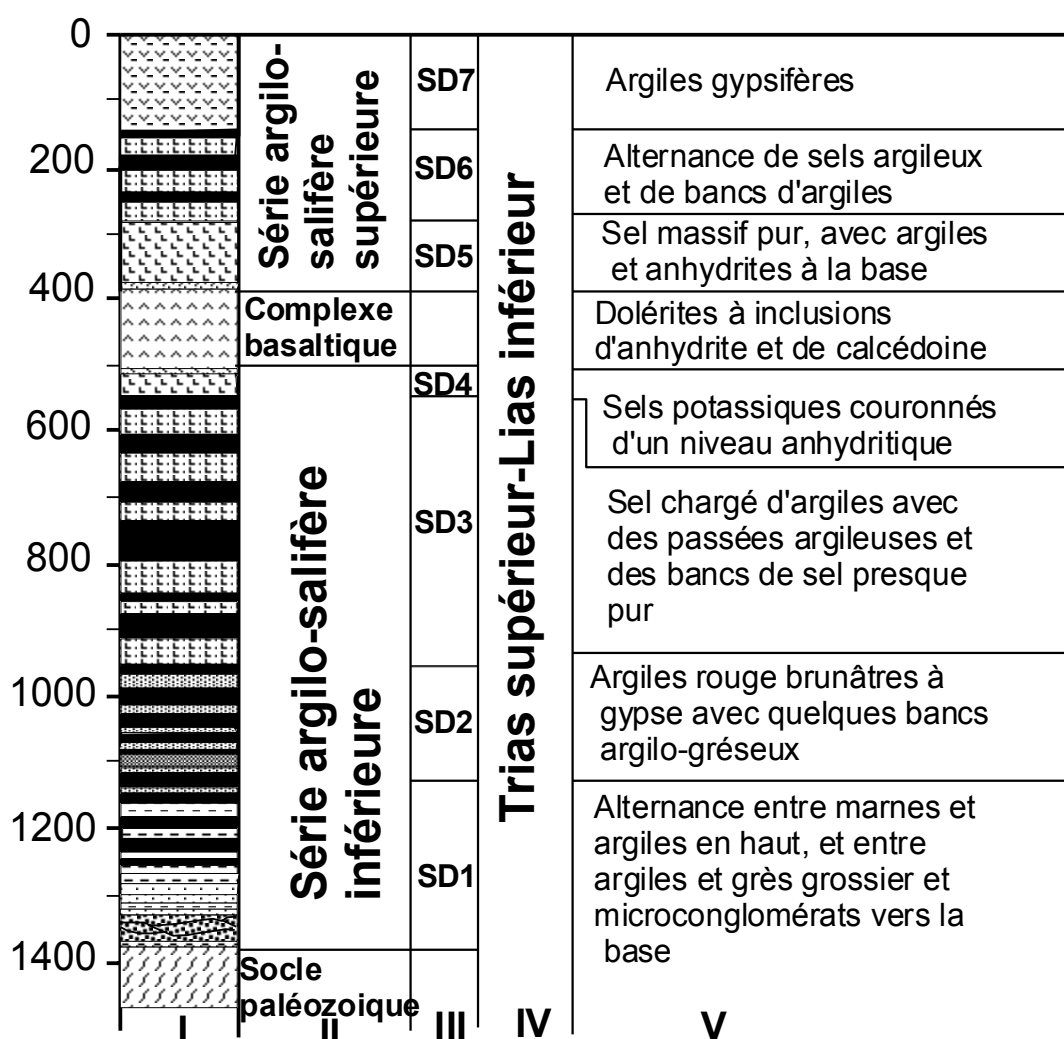


Fig. 3 – Succession lithostratigraphique synthétique de la série volcano-sédimentaire du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane. Colonnes : I. colonne lithostratigraphique; II. nomenclature lithostratigraphique, III: principales séquences; IV. attributions stratigraphiques; V. descriptions macroscopiques.

Fig. 3 – Synthetic lithostratigraphic succession of volcano-sedimentary series in the Triassic Berrechid-ElGara-BenSlimane basin. Columns: I. lithostratigraphic column; II. lithostratigraphic nomenclature; III. principal sequences; IV. stratigraphic attributes; V. macroscopic description.

Elle a été subdivisée en 7 séquences de dépôt, associées en séquences de deuxième ordre ou mégaséquences, et sera examinée (fig. 3) de la base vers le sommet :

– la séquence de dépôt SD1 repose en discordance angulaire majeure sur les terrains paléozoïques et est composée de conglomérats, de grès argileux et d'argiles silteuses. Elle est organisée en séquences élémentaires granodécroissantes et stratodécroissantes à base ravinante.

Les microconglomérats massifs ou à stratification fruste alternent avec des passées arénitiques lenticulaires ou à litage oblique, et sont surmontés par des grès argileux à litage oblique et par des siltites argileuses présentant un litage plan grossier.

– La séquence de dépôt SD2 est composée de grès, d'argiles gréseuses à litage plan et d'argilites sans structures associés en séquences positives métriques.

– La séquence de dépôt SD3 est constituée par l'alternance d'assises de sel argileux et d'argiles à litage plan ou sans structures qui s'associent avec du sel phénoblastique.

– La séquence de dépôt SD4 est composée de sel massif à inclusions potassiques. Elle est caractérisée par un sel blanchâtre à grisâtre, à cristallisation moyenne à grossière, marbré et veiné localement de filets ou d'agrégats d'anhydrite grisâtre et contenant des inclusions ou enclaves de carnallite rouge brique plus ou moins dispersées dans la masse saline.

– Le complexe basaltique est constitué de coulées de basaltes doléritiques superposées (Girard, 1987), massives ou souvent altérées et fracturées, avec des inclusions et petites géodes de halite, d'anhydrite gris verdâtre et de calcédoine.

– La séquence de dépôt SD5 montre une passée d'argiles marneuses et d'anhydrite, suivie de sel massif plus ou moins argileux, surmontés par des niveaux de sel blanchâtre et transparent généralement pur.

– La séquence de dépôt SD6 est composée d'une alternance de sel argileux et de bancs d'argiles repérables à partir des données diagraphiques.

– La séquence de dépôt SD7 est composée de marnes vertes à passées anhydritiques gris verdâtres à la base et d'argiles gypsifères au sommet.

22. Systèmes de dépôt

Les environnements et profils de dépôt sont des assemblages en trois dimensions de faciès liés génétiquement par des processus et des environnements actifs (actuels) ou inférés (fossiles) (Brown et Fisher, 1977).

Ainsi, les variations des sources d'apport sédimentaire et leur évolution au cours de la sédimentation correspondent à des changements climatiques, tectoniques

This series has been subdivided into seven sequences of second order megasequences. From bottom to top (Fig. 3) we have:

– *the sedimentary sequence SD1 rests on a major angular unconformity on the Paleozoic fields. It is composed of conglomerates, argillaceous sandstones and silty shale.*

Massive microconglomerates or with rough (defaced) stratification, alternate with oblique bedding lenticular arenite. They are overlain by obliquely bedding argillaceous sandstones, and largely planar argillaceous siltstone.

– *The sedimentary sequence SD2 is composed of sandstone, planar bedded sandy shale, and massive argillite in metric positive sequences.*

– *The sedimentary sequence SD3 is made up of alternation of argillaceous salts and planar bedding shale or massive shale associated with metacrystalline salt.*

– *The sedimentary sequence SD4 is composed of massive salt with potassic inclusions. It is characterised by a whitish-greyish salt, with medium to large grain crystals, localised marble veins, grey anhydrite aggregates containing brick red inclusions of carnallite more or less dispersed in the saline mass.*

– *The basaltic complex is composed of superposed basalt flows (Gerard, 1987). These basalts are generally massive and often fractured and weathered, and contain small voids and inclusions of halite, greenish-grey anhydrite and chalcedony.*

– *The sedimentary sequence SD5 shows a shale and anhydrite channel, followed by a more or less argillaceous massive salt, superposed by a layer of white and generally pure and transparent salt.*

– *The sedimentary sequence SD6 is composed of an alternation of argillaceous salt and shale beds that were only identified from the log data.*

– *The sedimentary sequence SD7 is composed of green marls, with greenish-grey anhydrite intercalations at the bottom and gypsiferous shale at the top.*

22. Depositional systems

The environment and sedimentological profiles are combined into three dimensional facies that are genetically linked by active processes and environment (actual) or inferred (fossils) (Brown and Fisher, 1977).

The variation in the sources of the sediments and their evolution in the course of sedimentation correspond to changes in the climate, tectonics and

ques et de paléoenvironnements du bassin de Berrechid-El Gara-BenSlimane. Dans ce dernier, après les prémices d'un milieu lagunaire ou lacustre et à la suite d'un aplanissement du profil, s'installaient cinq systèmes de dépôt se succédant dans le temps ; en partant du continent vers la mer, on distingue :

a/ Plaine côtière (coastal plain)

La nature pétrographique des dépôts grossiers de la séquence SD1 et les figures et structures sédimentaires qui leur sont associées (stratification confuse, stratification entrecroisée et oblique, des rides asymétriques) attestent que leur milieu de dépôt était exclusivement continental, caractérisé par un climat aride agissant en synergie avec une tectonique distensive, et pourrait être associé à une plaine côtière (fig. 4, i).

paleoenvironment of the Berrechid-ElGara-BenSlimane basin. In the latter, after an early lagoonal or lacustrine environment and flattening of the profile, followed the establishment of five depositional systems that succeeded each other in time; from the continent towards the sea we can identify:

a/ Coastal plain

The coarse sediments of the SD1 sequence have petrographic character, figures and associated sedimentary structures (chaotic stratification, crossed and oblique stratification, asymmetrical ripple marks) that strongly suggest their deposition in an exclusively continental environment that was characterised by arid climate acting in synergy with distensive tectonics, and might be associated to a coastal plain (Fig. 4, i).

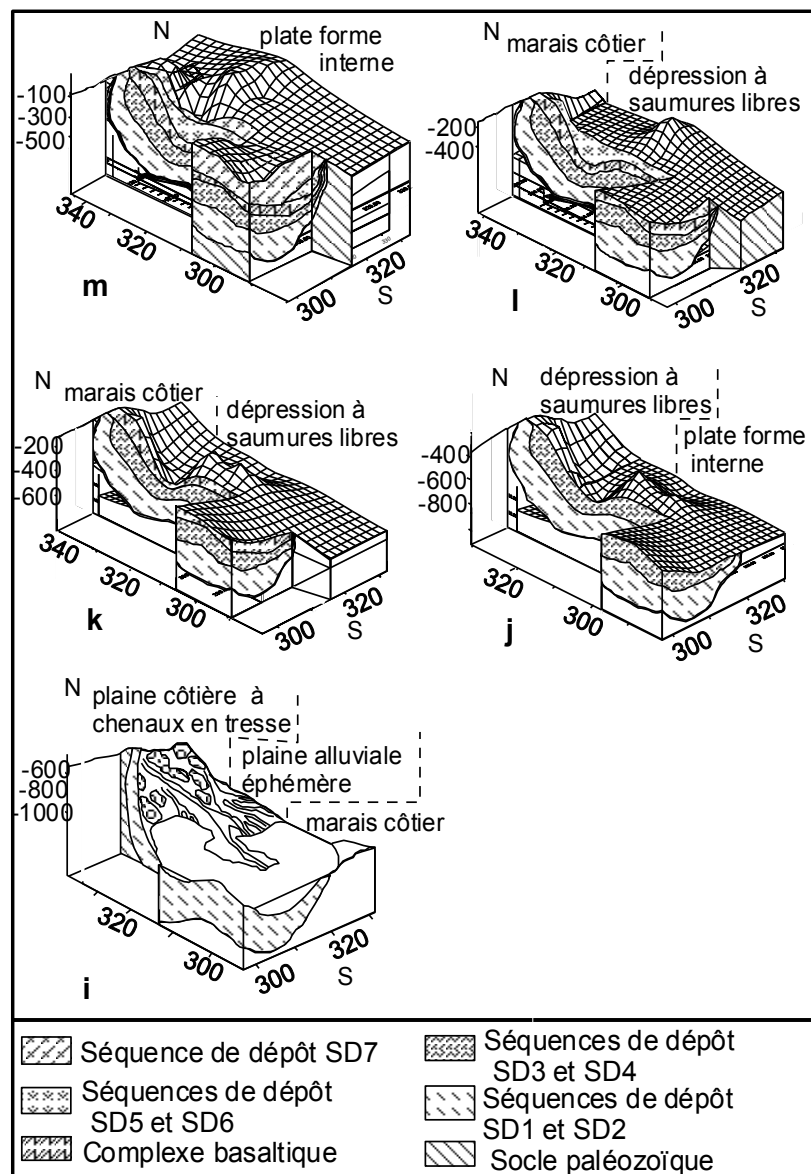


Fig. 4 – Environnement et profils de dépôt attribués aux séquences de dépôt du bassin de Berrechid-ElGara-BenSlimane.
Fig. 4 – Environment and depositional profiles of sedimentary sequences in the Berrechid-ElGara-BenSlimane basin.

b/ Plaine alluviale éphémère (*alluvial plain*)

Le passage latéral, dans des séquences positives, des grès grossiers à litage oblique vers des siltites argileuses à litage plan ou arqué à la base au fur et à mesure de leur transport vers le centre du bassin, atteste que ces dépôts sont distribués dans une plaine alluviale à chenaux éphémères (fig. 4, i).

c/ Marais côtier (*coastal pan*)

Les dépôts de la séquence SD2 sont composés d'une alternance d'argiles et de siltites à litage plan et d'argiles sans structure. Parfois les argiles silteuses montrent des couches finement laminées de faible cohésion et s'érodent, donc, facilement. Par ailleurs, ces dépôts s'interpénètrent avec des évaporites en direction du centre du bassin. Ainsi ces faciès mêlés à du sel argileux chaotique, suite à un processus diagénétique précoce lors du dessèchement du plan d'eau, pourraient être associés à un environnement de marais côtier (fig. 4, i).

d/ Dépression à saumures libres (*brine pan*)

Les faciès rencontrés dans les évaporites du bassin de Berrechid-ElGara-BenSlimane sont : le sel argileux, le sel potassique, l'anhydrite (gypse) laminée, le sel lité et le sel clastique. En général, ces dépôts sont marqués par leur précipitation et leur répartition en couches laminées dans un milieu sursalé et de faible profondeur (Kulke, 1979). Ils prennent naissance dans les sous-bassins de Médiouna-SidiLarbi, Berrechid-ElGara et ElGara-Ben Slimane suite à une mise en place des saumures d'origine dans ces zones subsidentes du bassin qui sont séparées les unes des autres par des zones stériles hautes. En outre, l'étude géochimique de ces dépôts (Peretsman, 1985 ; Holser *et al.*, 1988) a montré leur origine marine à laquelle contribuaient des sources continentales. Ceci laisse penser que ces faciès typiquement laminés suggèrent une sédimentation à partir des saumures dont la chimie change périodiquement. Par ailleurs, le complexe basaltique intercalaire entre ces séquences salifères, caractérisé par une succession de niveaux durs fissurés et altérés, et de niveaux tendres et altérés, pourrait avoir une mise en place sous-aquatique à sub-aérienne. L'ensemble de ces faciès possède, donc, des caractères sédimentologiques et hydrodynamiques qui nous permettent de les associer à un système de dépression à saumures libres (fig. 4, j, k, l).

e/ Plate forme interne (*internal platform*)

Dans les dépôts de la séquence SD7 les niveaux carbonatés sont très rares et ne sont représentés que par de rares lamines légèrement ondulées. Ils se rencontrent en sondage, sous forme d'intercalations marneuses de puissance réduite accompagnées d'anhydrite. Normalement ces faciès prenaient naissance dans la zone intertidale (Manspeizer, 1988). Ils caractérisent un milieu de

b/ Alluvial plain

The lateral gradation from coarse grained sandstone with inclined beds towards shaly siltstone having planar or arched beds according to their transport towards the centre of the basin signify that these sediments were distributed by ephemeral channels on an alluvial plain (Fig. 4, i).

c/ Coastal plain

The sediments of SD2 sequence are composed of an alternation of shale and siltstone with planar bedding and massive shale. Occasionally, the silty shale are finely laminated, weakly cemented and easily eroded. These sediments interfringe with evaporites elsewhere towards the centre of the basin. These facies mixed with chaotic argillaceous salt, were subjected to early diagenetic processes during periods of dryness, and thus could be associated to coastal plain environment (Fig. 4, i)

d/ Brine pan

*The facies found in the evaporites of the Berrechid-ElGara-BenSlimane basin are: argillaceous salt, potassic salt, laminated anhydrite (gypsum), stratified and clastic salt. In general, the precipitation and distribution of these deposits are marked by laminated beds in a salt pan environment of shallow depth (Kulke, 1979). They originate from the Mediouna-SidiLarbi, Berrechid-ElGara and ElGara-BenSlimane sub basins after the emplacement of brines in subsidence zones of the basin that are separated from each other by barren high zones. Besides, geochemical studies of these deposits (Peretsman, 1985; Holser *et al.*, 1988) have shown that they are of marine origin with contribution from continental sources. This suggests that these typically laminated facies could have originated from deposition of brines whose chemistry changed periodically. On the other hand, the basaltic complex that intercalates with these saliferous sequences is characterized by a succession of fissured hard and soft layers, weathered in a subaqueous and subaerial setting.*

The whole facies assemblage possesses sedimentological and hydrodynamic characteristics that allows us to associate them with brine pan (Fig. 4, j, k, l).

e/ Internal platform

In the SD7 sedimentary sequence, carbonates platform are very rare and are represented only by slightly undulating laminae. They are found in boreholes in the form of thin marly intercalations accompanied by anhydrites. Normally, this facies originated from the intertidal zone (Manspeizer, 1988) and characterized a fairly shallow homogenous depositional environment that was

dépôt assez homogène, de faible profondeur, soumis temporairement à la dessiccation et probablement d'assez forte salinité. Ils sont ainsi associés à un système de plate-forme interne (fig. 4, m).

subjected to temporal dryness and probably high salinity. They are thus associated with the internal platform system (Fig. 4, m).

3. GEOMETRIE DES DEPOTS

3. GEOMETRY OF DEPOSITS

31. Cartographie des séquences de dépôt

31. Mapping of the sedimentary sequences

Les assises des séquences SD1 et SD2affleurent localement sur les bordures septentrionale et orientale du bassin, où leur épaisseur ne dépasse pas une centaine de mètres, tandis qu'au centre, dans le sondage POM.2, elles montrent une puissance de plus de 400 m, alors que les niveaux de base non explorés restent inconnus.

The beds of the SD1 and SD2 sequence outcrop locally on the northern and eastern borders of the basin, and their thicknesses do not exceed a hundred metres, while in the centre, in the POM.2 borehole, the thickness is over 400m. Nothing is known of the bottom since they have not been explored.

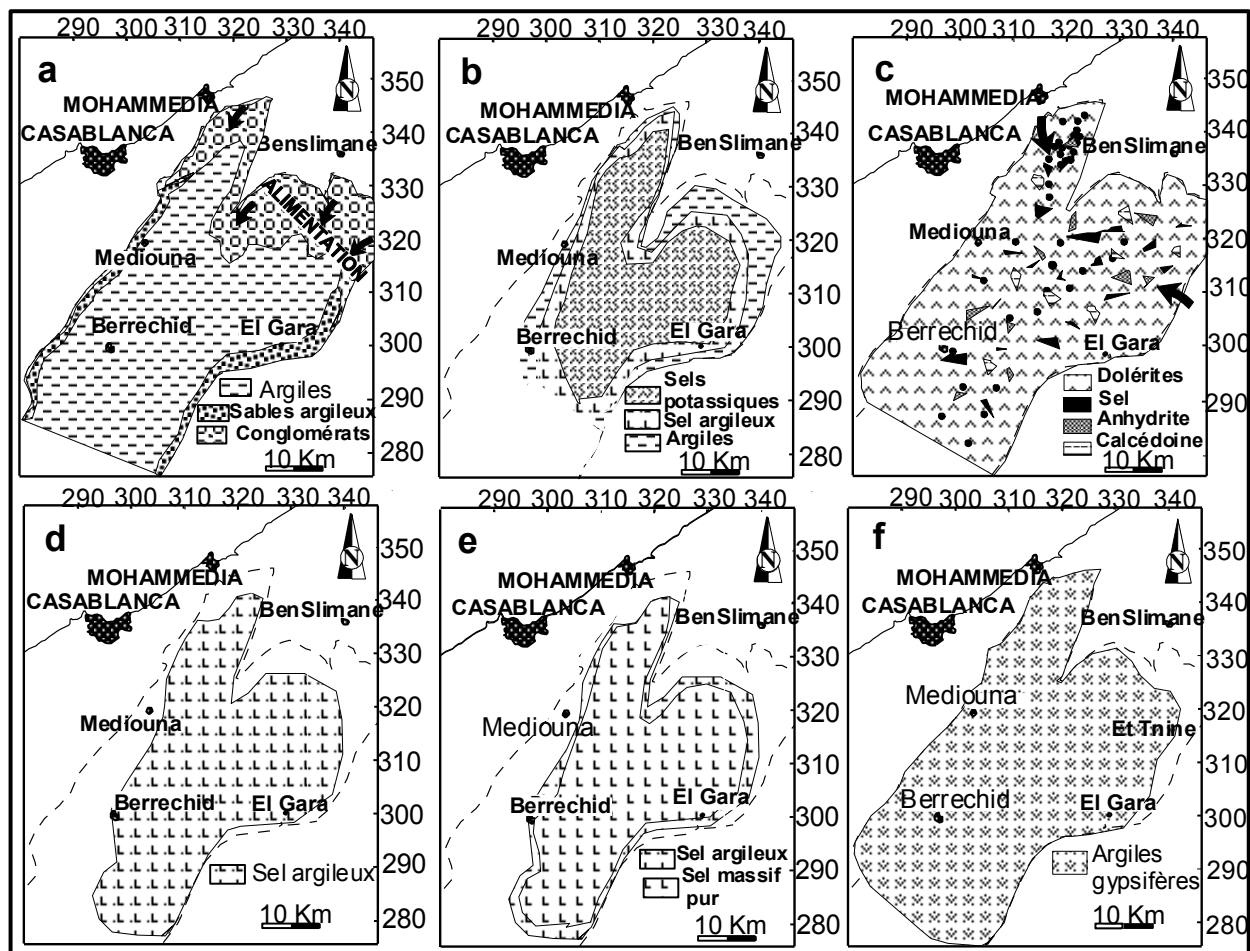


Fig. 5 – Cartes de répartition des faciès des séquences de dépôt du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane. (a. carte de faciès de SD1 et SD2; b. carte de faciès de SD3 et SD4; c. carte de répartition du complexe basaltique; d. carte de faciès de SD5; e. carte de faciès de SD5 et SD6; f. carte de faciès de SD7)

Fig. 5 – Facies distribution maps of sedimentary sequences in the Triassic basin of Berrechid-ElGara-BenSlimane. (a. facies map of SD1 and SD2; b. facies map of SD3 and SD4; c. map of the distribution of the basaltic complex; d. facies map of SD5; e. facies map of SD5 and SD6; f. facies map of SD7)

En outre, la mise en évidence de discordances progressives et des variations d'épaisseur des strates, en plus d'une stratification plane légèrement inclinée vers le SW et le mécanisme des blocs basculés plaident en faveur d'une tectonique distensive très active, marquée par des failles subméridiennes et des failles normales synsédimentaires de direction NNW-SSE à NE-SW (fig. 2, 5-a).

Les séquences SD3 et SD4 se sont déposées dans des zones qui ne sont reconnues que par sondage. SD4 est plus réduite que SD3, et montre des sels potassiques carnallitiques au mur du repère anhydritique ; toutefois le niveau bréchoïde à teneur en K_2O maximale qui se situait 5 m environ plus bas de ce repère à POM.1, se retrouve à POM.2 mais à plus de 11 m du même repère. En fait ces critères semblent refléter une tectonique distensive synsédimentaire. Par ailleurs, la cartographie de cette séquence montre une zone haute délimitée par trois zones profondes situées à l'est, au NNW et SSE de cette dernière (fig. 5-b, 6-a, 7).

La cartographie du complexe basaltique, niveau repère à l'échelle régionale, montre que les épaisseurs augmentent sensiblement en direction du NW et SE du bassin (plus de 100 m de puissance). Les épaisseurs les plus faibles se rencontrent sur les bordures SW (moins de 30m) et NNE du bassin (moins de 70m) (fig. 5-c, 6-b, 7).

La cartographie des séquences SD5 et SD6 accompagnée de coupes de corrélation (fig. 5(d, e), 6 (c, d), 7) montrent trois zones allongées orientées NNE-SSW plus profondes que les zones hautes et stériles situées dans l'ouest, l'WSW et le NE du bassin.

La cartographie de la séquence SD7 et les coupes de corrélation montrent que les variations d'épaisseur pourraient dépasser 200 m dans tout le tiers SW du bassin (fig. 5-f, 6-e, 7).

32. Interprétation

En résumé, l'accroissement important de la puissance des séquences SD1 et SD2 de la bordure vers le centre du bassin peut être expliqué par l'individualisation d'un graben orienté NNE-SSW, à zone centrale plus subsidente que la zone de marges haute, sous l'effet d'une tectonique distensive et synsédimentaire. En outre la sédimentation de ces deux séquences est marquée par des épandages détritiques grossiers relayés latéralement, mais verticalement aussi et assez rapidement par une sédimentation argileuse fine.

De même, les dépôts salifères d'abord de la séquence SD3, puis de la séquence SD4 prennent place précoce-

Besides, the evidence shown by the progressive unconformity and the variation in the thickness of the strata, in addition to plane stratification that is slightly inclined towards the SW and the mechanism of tilting suggest a very active distensive tectonics, marked by submeridians faults and normal synsedimentary faults oriented in the NNW-SSE direction (Figs. 2, 5-a).

The SD3 and SD4 sequences were deposited in zones that can only be known through boreholes. SD4 is smaller than SD3 and contains carnallitic potassic salt on the anhydritic marker wall. The brecciated layer with maximal K_2O content is situated about 5m below the marker at POM.1; it is found at more than 11m from the same marker at POM.2. Thus this criteria seems to suggest a synsedimentary distensive tectonics. The map of this sequence shows a higher zone that is limited by three deep zones situated at the east, NNW and SSE of this latter (Figs. 5-b, 6-a, 7).

The map of the basaltic complex, a marker horizon at the regional scale, shows that the thickness increases considerably in the NW and SE direction of the basin (over 100m thick). The smallest thickness is found at the SW (less than 30m) and NNE (less than 70m) borders of the basin (Figs. 5-c, 6-b, 7).

The map and accompanying correlation section of the SD5 and SD6 sequence (Figs. 5-d, e, 6-c, d, 7) show three elongated zones oriented NNE-SSW. These are deeper than the high barren zones situated in the west, WSW and the north of the basin.

The mapping of the SD7 sequence and the correlation sections show that the variation in the weathered thickness exceeds 200m in all the SW quarter of the basin (Figs. 5-f, 6-e, 7).

32. Interpretation

In summary, a significant increase in the thickness of the SD1 and SD2 sequence from the borders towards the centre of the basin can perhaps be explained by the individualization of a half graben oriented NNE-SSW, a central part with more subsidence than the high marginal zone, under the influence of distensive and synsedimentary tectonics. Besides, the sedimentation of these two sequences is marked by the lateral spreading of coarse detritus followed vertically by sedimentation of fine argillaceous material.

Similarly, the saliferous sediments of SD3, and SD4 sequences took place early in three subsiding zones

ment dans trois zones subsidentes correspondant aux demi-grabens de Médiouna-SidiLarbi, Berrechid-ElGara et ElGara-BenSlimane séparés par des horsts. Ces faciès se répartissent en auréoles autour de l'axe du bassin et semblent refléter une tectonique synsédimentaire même si son action est limitée à une subsidence différentielle entre le centre du bassin et ses bordures.

separated by a horst corresponding to the half graben of Mediouna-SidiLarbi, Berrechid-ElGara and ElGara-BenSlimane. These facies are distributed in aureoles around the axis of the basin and seem to reflect a synsedimentary tectonics, even though its action is limited to differential subsidence between the centre of the basin and its borders.

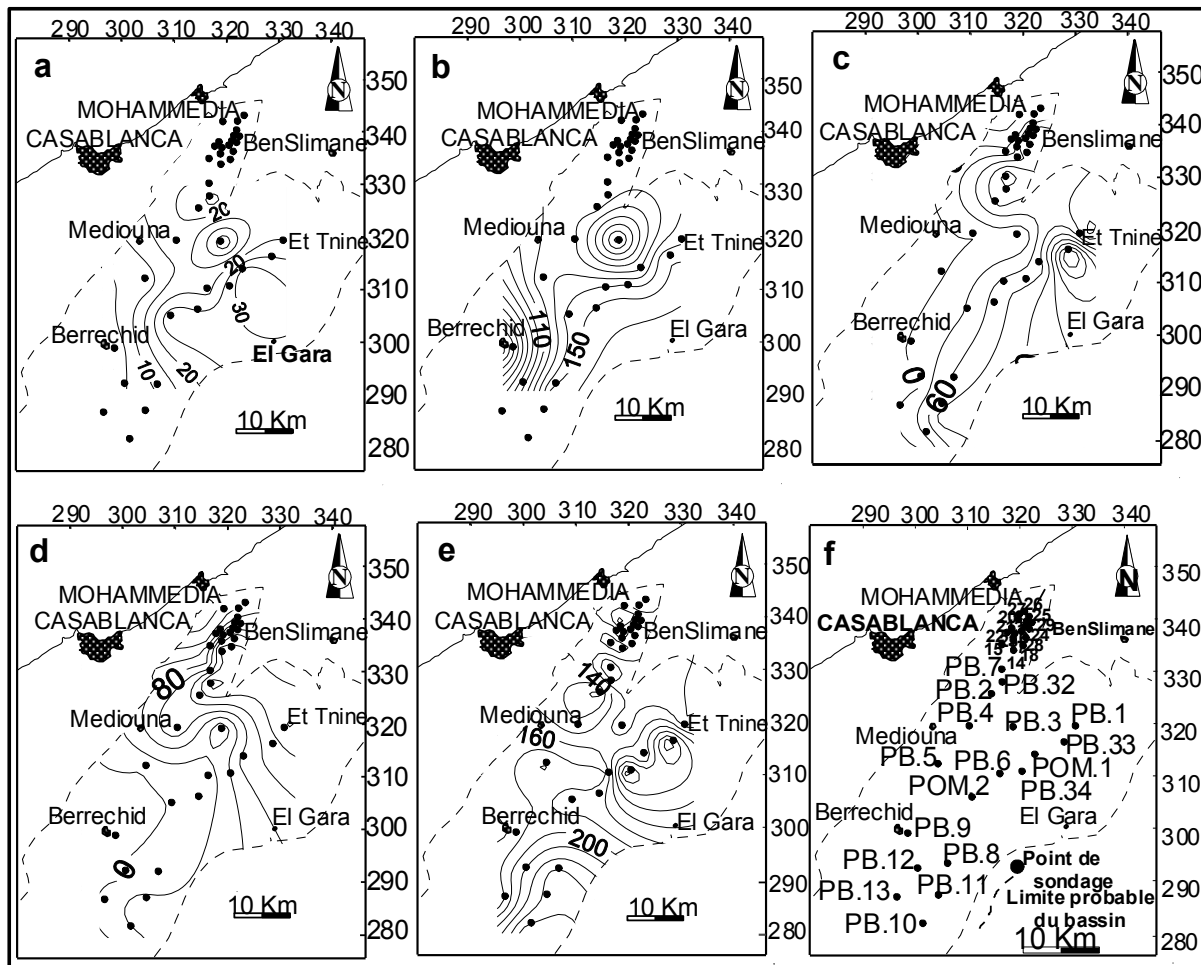


Fig. 6 – Cartes des isopaques des séquences de dépôt du bassin triasique de Berrechid-ElGara-BenSlimane. (a. carte des isopaques de SD4; b. carte des isopaques du complexe basaltique; c. carte des isopaques de SD5; d. carte des isopaques de SD6; e. carte des isopaques de SD7; f. carte d'implantation des sondages)

Fig. 6 – Isopach maps of the sedimentary sequences of the Triassic basins of Berrechid-ElGara-BenSlimane. (a. isopach map of SD4; b. isopach map of basaltic complex; c. isopach map of SD5; d. isopach map of SD6; e. isopach map of SD7; f. borehole implantation map).

La répartition d'épaisseur et de faciès ainsi que les coupes interprétatives et le schéma structural du bassin (fig. 2) nous permettent de supposer que l'alimentation du bassin en coulées doléritiques se faisait probablement à partir des failles bordières de transfert situées dans les parties NW et SE, puis envahissaient tout le bassin et interrompaient momentanément la sédimentation salifère.

Thickness and facies distribution as well as the interpretative section including the structural diagram of the basin (Fig. 2) make us think that the supply of doleritic flood to the basin was probably done starting from the bordering faults situated in the NW and SE. This was followed by generalised flooding through the whole basin momentarily interrupting saliferous sedimentation.

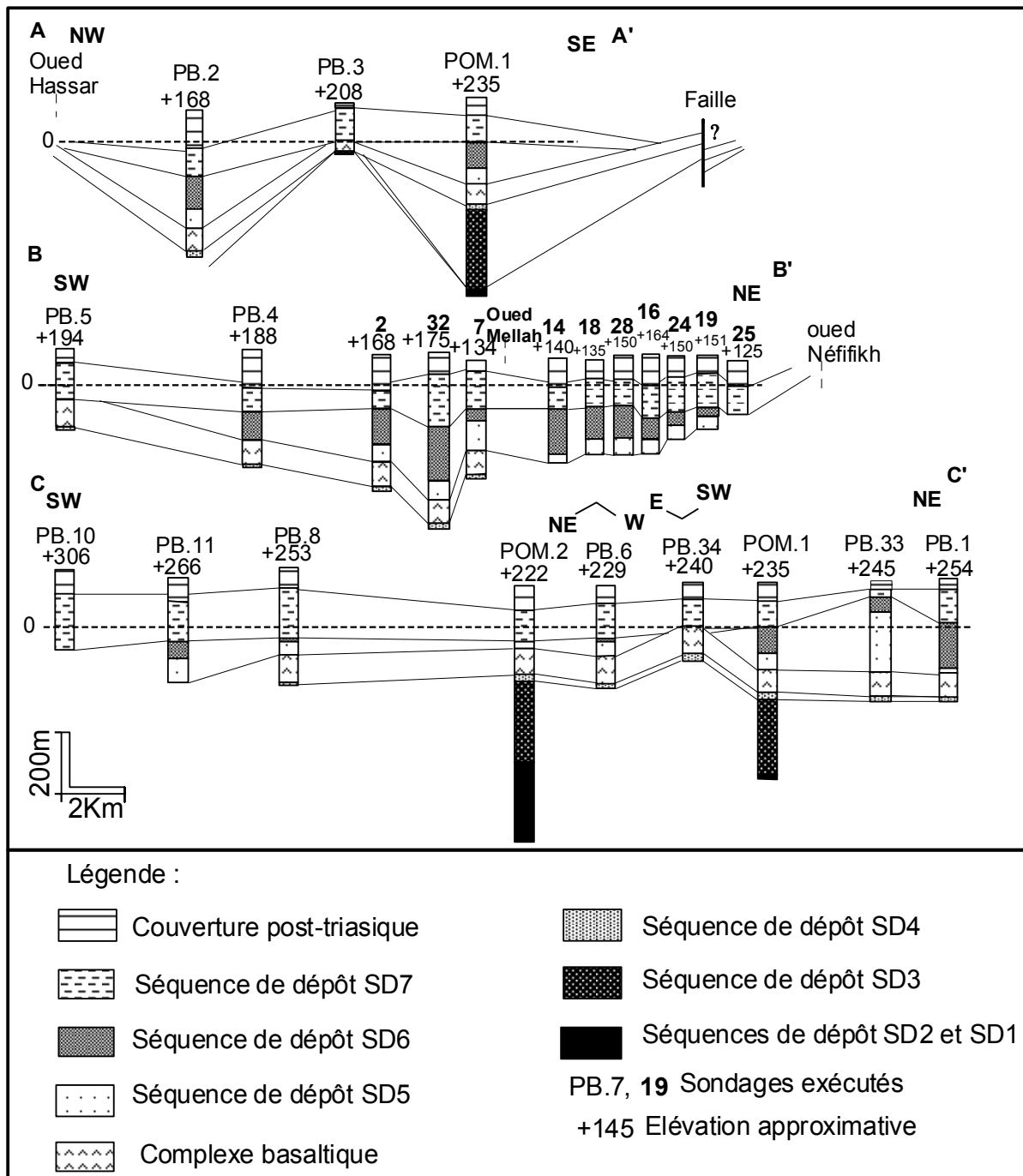


Fig. 7 – Coupes interprétatives des sondages exécutés dans le bassin salifère de Berrechid-ElGara-BenSlimane. Pour la localisation des coupes A-A', B-B' et C-C', voir fig. 2.

Fig. 7 – Interpretative section of boreholes executed in the saliferous basin of Berrechid-ElGara-BenSlimane. For the location of section A-A', B-B' and C-C', see Fig. 2.

Les dépôts salifères des séquences SD5 et SD6 présentent un emboîtement concentrique orienté NNE-SSW dans la partie subsidente, alors qu'ils sont affectés par d'importantes dissolutions accompagnées de phénomènes de resédimentation, surtout au niveau du toit et des bordures à l'ouest et à l'WSW. Il semble qu'une ac-

The saliferous sequences of SD5 and SD6 have a concentric structure oriented NNE-SSW in a subsident part whereas they are affected by significant dissolutions that accompanied the phenomena of re-sedimentation, especially at the roof level and the borders in the west and WSW. It seems that an epeirogenic type

tivité de type épirogénique soit intervenue au cours de cet épisode et aurait déterminé la transgression de la séquence SD7 et l'arasement partiel des dépôts de SD6, voire de SD5. Cette hypothèse nous permet de déduire une possibilité d'érosion intratriasique.

De même l'absence de dépôts par lacune de sédimentation du sel supérieur mise en évidence à l'aplomb du sondage PB.34 (fig. 7) confirme cette hypothèse, mais confirme aussi les données gravimétriques et traduit dans le secteur considéré la présence à la fin du Trias d'une zone de seuil séparant les sous-bassins subsidents d'ElGara-BenSlimane de celui de Berrechid-El Gara.

La séquence SD7 est épaisse à l'extrémité méridionale du bassin (plus de 200 m) où l'ultime transgression marine du Trias supérieur-Lias inférieur progressait à partir du bras sud-occidental de la mer Néotéthys (Holser *et al.*, 1988 ; Salvan, 1984). L'étude faciologique de ces dépôts montre qu'une sédimentation sulfatée sur les bordures est relayée par une sédimentation salifère dans la partie centrale avant que la sédimentation sulfatée soit généralisée dans tout le bassin.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude des caractères sédimentologiques et hydrodynamiques et de la géométrie des dépôts nous a permis d'une part, d'associer les environnements de dépôts en cinq profils de dépôt se succédant dans le temps en partant du continent vers la mer ; d'autre part, de confirmer que les zones de dépôt-centre sont plus subsidentes que les zones de bordures. Elle a montré également la présence de phases d'érosion intratriasique mises en évidence par d'importantes dissolutions qui affectent certaines séquences, en particulier salifères.

Au début, le bassin dominé par une plaine côtière associée temporairement à une plaine alluviale, s'est individualisé en demi-grabens de direction NNE-SSW dans un contexte transtensif, et est délimité par des accidents subméridiens réactivés (Laville et Piqué, 1991). Le milieu était exclusivement continental. Les dépôts détritiques prédominaient dans tout le bassin et sont alimentés par les sources mises à l'érosion dans les reliefs émergés de la Méseta nord occidentale et sont favorisés par les processus précoces liés à un double contrôle tectonique et climatique sous un régime fluvial.

Ensuite, le bassin serait subdivisé par des failles normales en quatre zones : sous-bassin de Médiouna-Sidi Larbi, seuil de Nouasseur-BenSlimane, sous-bassin de Berrechid-El Gara et sous-bassin d'ElGara-BenSlimane. Les faciès silicoclastiques fins ultérieurement investis par des saumures hypersalines interstitielles formaient un environnement de marais côtier faisant rapidement place à

activity intervened in the course of this episode and affected the transgression of the SD7 sequence and partially truncated the sediments of SD6 and even those of SD5. This hypothesis allows us to deduce the possibility of intraTriassic erosion.

Similarly, the sedimentation gap indicating the absence of upper salt deposits observed in borehole PB.34 (Fig. 7) confirms this hypothesis, and also explains in the sector considered the presence at the end of Trias of a gravimetric marker zone separating the subsiding sub basins of ElGara-BenSlimane from those of Berrechid-ElGara.

The SD7 sequence is thick in the southern extremities of the basin (over 200m) where the last upper Trias-lower Lias marine transgression progressed, starting on the southwestern arm of the NeoTethys sea (Holser et al., 1988; Salvan, 1984). Facies studies of these deposits show sulphate sedimentation at the borders followed by saliferous sedimentation in the centre, then a generalized sulphate sedimentation in the entire basin.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The study of the sedimentological, hydrodynamic characteristics, and the geometry of the sediments have permitted us in a way to associate the environment of deposition to five sedimentation profiles, that succeeded each one in time from the continent towards the sea, then on the other hand confirm that the central depositional zones are more subsident than the border zones. It also shows the presence of an intraTriassic erosion phase that is justified by significant dissolution of some sequences, particularly saliferous sequences.

At the beginning, the basin was dominated by a coastal plain, temporarily associated with an alluvial plain that individualized a half graben trending NNE-SSW bordered by a reactivated sub meridian tectonic accident (Laville and Piqué, 1991). The environment was exclusively continental. Detritic sediments from the erosion of the NW Meseta uplift predominated. This was linked both to the tectonics and climatic control under a fluvial regime.

Later, the basin was subdivided by normal faults into four zones: Mediouna-SidiLarbi sub basin, Nouasseur-BenSlimane shelf, Berrechid-ElGara and ElGara-Ben Slimane sub basins. The fine siliciclastic facies further enhanced by interstitial hypersaline brine forming a coastal plain environment rapidly gave way to a brine pan where potassic salt of the SD4 sequence have

une dépression à saumures libres où les sels potassiques de la séquence SD4 ont occupé les parties centrales fortement subsidentes des sous-bassins. Ainsi la sédimentation salifère est favorisée, mais rien n'empêchait sa rupture brutale par l'émission de coulées basaltiques. Cette dernière serait issue d'un volcanisme fissural réalisé probablement à travers des failles de transfert situées dans le NW et le SE du bassin et interprété comme étant lié à l'ouverture de l'Atlantique central (Bertrand & Prioton, 1975). Ainsi la mise en place de ces coulées a été supposée sous-aquatique à subaérienne, accompagnée d'un taux de subsidence assez important. La sédimentation salifère reprenait dans une dépression à saumures libres soumise par la suite à des influences continentales prédominantes (Salvan, 1984 ; Et-Touhami, 1994). Ces dernières étaient les causes des dissolutions qui ont affecté profondément la séquence SD6 voire le toit de la séquence SD5. Ainsi, ces dissolutions étaient les conséquences d'une phase régressive lagunaire ayant précédé l'ultime transgression, vers la fin du Trias supérieur (Hallam, 1984), des argiles gypsifères de la séquence SD7 sur les sels argileux de la séquence SD6. Le sens de cette transgression était probablement du SW au NE. Au changement de l'environnement de dépôt d'une plate-forme interne vers un stade de régression suivi d'une longue période d'émergence, l'érosion postérieure avait tronqué le sommet de la série triasico-liasique du bassin de Berrechid-ElGara-BenSlimane.

Enfin, tous ces mécanismes étaient globalement gérés par une expansion progressive qui se déclenchait à l'ouest, dans la mer Proto-Atlantique, et qui avait pour effet le début de la séparation crustale entre l'Afrique et l'Amérique du Nord ou Laurentia. Cette expansion est avortée à la fin du Trias, alors qu'elle se poursuivait dans l'emplacement du Moyen et Haut-Atlas. □

occupied the strongly subsident part at the centre of the sub basin. This saliferous sedimentation was favoured, but nothing prevented its violent rupture by the emission of basaltic flows. The latter came from fissural volcanism through the transformed faults situated in the NW and SE of the basin and interpreted to be linked to the opening of the central Atlantic (Bertrand and Prioton, 1975). These flows are thought to be subaqueous and subaerial, from a fairly significant subsidence rate. Saliferous sedimentation took place in a brine pan under predominantly continental influence (Salvan, 1984; Et-Touhami, 1994). The latter was the cause of the dissolution that profoundly affected the SD6 sequence and even the top of the SD5 sequence. Thus dissolutions of the gypsiferous shale of the SD7 sequence on the argillaceous salt of the SD6 sequence are the consequences of a lagoonal regressive phase that preceded the last transgression towards the end of upper Trias (Hallam, 1984). The direction of this transgression was probably from SW to NE. The change in depositional environment from an internal platform towards a stage of regression was followed by a long period of emersion and subsequent erosion that truncated the top of triasico-liasic series in the Berrechid-ElGara-Ben Slimane basin.

Lastly, these mechanisms were managed globally by progressive expansion that detached it from the west, in the Proto-Atlantic sea, whose effect was the initiation of the crustal separation of Africa from North America or Laurentia. This expansion was aborted there at the end of the Trias, but continued during the emplacement of the Middle and High Atlas. □

Références bibliographiques

- Bertrand H., Prioton J.M. (1975) – Les dolérites marocaines et l'ouverture de l'Atlantique. Étude pétrologique et chimique. – *Thèse 3^{ème} cycle*, Univ. Claude Bernard, Lyon, 425-426, 2 t., 320 p.
- Brown L.F.J., Fisher W.L. (1977) – Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian rift and pull apart basins. – In : Payton C.E. (editor), *Seismic stratigraphy. Applications to hydrocarbon exploration. AAPG Mem.*, 26, 213-248.
- Bureau de Recherches et de Participations Minières (1957 à 1977) – Rapports inédits de fin de sondages concernant les recherches de sels potassiques dans le bassin salifère de Berrechid-ElGara. – *BRPM*, Maroc.
- El Wartiti M., Fadli D. (1985) – Relations socle-couverture au cours du Trias dans la zone de BenSlimane-ElGara (Maroc nord mésétien). – *Bull. Sci. Ter.*, Rabat, 1, 54-66.
- El Wartiti M., Medina F., Fadli D. (1992) – Effects of the central Atlantic early rifting in the northern border of the Berrechid-ElGara basin (Morocco). – *Gaia*, 4, 31-38.
- Et-Touhami M. (1994) – Le Trias évaporitique du bassin de Khémisset (Maroc central). Géométrie des dépôts, évolution sédimentaire et géochimie. – *Notes Mém. Serv. Géol.*, Maroc, 373, 211 p.
- Girard D. (1987) – Géochimie et minéralogie des laves triasiques de la Méséta côtière, Maroc. – *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 11, 37-46.
- Hallam A. (1984) – Pre-quaternary sea level changes. – *Annu. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 12, 205-243.

- Holser W.T., Clement G.P., Jansa L.F., Wade J.A. (1988) – Evaporite deposits of the north Atlantic rift. – *In* : W. Manspeizer (editor), Triassic-Jurassic rifting. Continental breakup and the origin of the Atlantic Ocean and passive margins. *Elsevier*, Amsterdam, 525-556.
- Kulke H. (1979) – Sédimentation, diagenèse et métamorphisme léger dans un milieu sursalé. Exemple du Trias maghrébin. – *Sci. Terre*, tome 23 (2), 39-74.
- Laville E., Piqué A. (1991) – La distension crustale atlantique au Maroc au début du Mésozoïque. Le rejeu des structures hercyniennes. – *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 162 (6), 1161-1171.
- Manspeizer W. (1988) – Triassic-Jurassic rifting and opening of the Atlantic. An overview. – *In* : W. Manspeizer (editor), Triassic-Jurassic rifting. Continental breakup and the origin of the Atlantic Ocean and passive margins. *Elsevier*, Amsterdam, 41-79.
- Peretsman G.S. (1985) – A geochemical and petrographic analysis of Early Mesozoic evaporites from Morocco. Implication for the evolution of the North Atlantic rift. – *M.S. Thesis*, Univ. Oregon, 82 p.
- Piqué A. (1994) – Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale. – *Éditions Pumag*, 283 p, Maroc.
- Salvan H.M. (1984) – Les formations évaporitiques du Trias marocain. Problèmes stratigraphiques, paléogéographiques et paléoclimatiques. Quelques réflexions. – *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, Paris, 25 (3), 187-203.
- Ziegler P.A. (1988) – Post-Hercynian plate reorganization in the Tethys and Arctic-North Atlantic domains. – *In* : Triassic-Jurassic rifting. Edited by Manspeizer W., *Elsevier*, 711-755.